

氏 名	江 成 敬 次 郎
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 60 年 3 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 47 年 3 月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	活性汚泥浄化反応に対する窒素の影響についての基礎的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 松本順一郎 東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 只木 楨力

論 文 内 容 要 旨

活性汚泥とは細菌を主体とした好気性微生物の混合集団である。これらの微生物群の生物代謝能力を利用して、廃水中有機物の溶液中からの除去を行おうとするのが、活性汚泥法である。活性汚泥法は、現在、都市下水などの有機性廃水処理法として最も広く用いられている処理法である。

活性汚泥プロセスを効果的に機能させるためには、活性汚泥微生物と、廃水中有機物との反応を適切に管理する必要がある。そのためには、活性汚泥微生物の浄化反応特性を把握することが重要である。

本研究は、グルコースという有機物を炭素源とした人工下水（基質）を用いて、活性汚泥微生物の浄化反応特性について検討したものである。活性汚泥微生物の浄化反応は種々の要因によって影響をうけるが、本論文では、基質の質的特性の 1 つの側面である基質中窒素濃度や、窒素の存在形態が、活性汚泥微生物の反応に対してどのような影響をもたらすかについて検討し、次に、その結果や、これまでの既往の研究成果も参考にして活性汚泥の質的特性を考慮した浄化反応モデルの提示を試みたものである。本論文は 8 章から構成されている。

第 1 章 序 論

ここでは、本研究の目的や背景について述べた。

第2章 既往の研究

本章では、活性汚泥法に関する研究のうち、主として浄化反応に関わる既往の研究を概観し、問題点の提起を行っている。活性汚泥法は今日最も広く用いられている処理法であるが故に、広範な課題について活発な研究が行われてきた。しかしながら活性汚泥そのものが、混合微生物集団であることや、反応の対象にしている廃水自身が、その質的、量的特性を一定しないという事情などから、個々の処理施設の維持管理が経験と勘に多くを頼っているのも事実である。

一方、近年、電子機器の発達によって、廃水処理の分野でも自動制御が使われはじめ、これをより有効ならしめるためにはより詳細な浄化機構、反応動力学が必要とされてきている。

このような背景から、活性汚泥と廃水中有機物との反応を、従来のBOD、MLSSレベルより一歩深いレベルで考察しようという試みがなされ、グルコースやモデル廃水を用いて、活性汚泥微生物反応の考察などが行われるようになってきた。このような条件は、現場の条件とかなり異なっており、得られた結果がすぐに実際に役立つことにはならないという問題点がある。しかし、これらの成果が積み重ねられていくことによって、より実質的な問題の解決が近づいていくものと考えられる。

第3章 活生汚泥による窒素化合物の代謝について

本章では、主として、活性汚泥と廃水中有機物との間で行われる微生物反応に対して窒素化合物がどう影響しているのかということについて考察している。

まず、4種類の代表的な窒素化合物を選び、それぞれの窒素化合物への活性汚泥の馴致過程について考察し、次いで、それらの窒素化合物に馴致された活性汚泥の浄化反応特性について考察した。これらの考察によって以下のような結果が得られた。

- ① 活性汚泥が新しい窒素化合物に馴致するには約一ヶ月間を必要とする。また、馴致の難易には、化合物そのものの構造的単純さ、複雑さよりむしろ、それ以前に馴致されていた化合物との類似性が影響する。
- ② 異なった窒素化合物に馴致された活性汚泥は炭素系基質としてのグルコースの除去には差を示さない。窒素化合物の代謝では、有機性窒素はアンモニア性窒素に分解され、それが摂取され、硝酸性窒素の場合には、亜硝酸性窒素の生成がみられるというように、それぞれ特徴がみられた。

第4章 活性汚泥浄化反応に対する窒素濃度の影響

本章では、まず、基質中窒素濃度の処理水質に対する影響について考察し、次に、汚泥成分に対する影響について考察する。そして、窒素の負荷量と活性汚泥による摂取量との関係や、摂取量と汚泥タンパク質増加率との関係について考察した。その結果、次のような知見が得られた。

- ① 基質中の窒素濃度が50～60mg/l（これは、グルコースに対して30～25：1の割合となる）以下になると処理水中に炭素源基質が残留し、処理水質が悪化する。また、それ以上になると窒素が処理水中に残存し、水質の悪化となる。グルコース濃度に対する窒素濃度のこの割合をBOD₅：Nに換算すると23～19：1となる。

- ② 活性汚泥の成分組成は、基質中のグルコース：Nが25：1以下であればほぼ安定しており、炭水化物/MLSS=0.2~0.3, タンパク質/MLSS=0.4~0.5であった。
- ③ 本実験条件下では、1gの活性汚泥生物量（タンパク質量で代表させた）の最大窒素摂取量は1日当り約50mgであった。そして、この摂取量の範囲内で、窒素摂取量とタンパク質増加率との間には一次の関係が認められた。

第5章 活性汚泥の浄化機構について

ここでは、活性汚泥と基質との比率（F/M比）を変化させた回分実験を行い、その結果から、活性汚泥の質的な特性を考慮した浄化反応機構について考察している。

本章で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- ① 活性汚泥の基質除去速度には、基質濃度だけでなく、活性汚泥の質的特性も影響を与える。その質的特性を汚泥中の炭素含有量と窒素含有量の比をC/N比で表わすと、C/N比が大きくなると除去速度が小さくなる傾向を示す。
- ② 活性汚泥によって除去された基質は、その多くが汚泥内に摂取される。従って、MLSS濃度の経時変化は外部基質濃度の経時変化と同様の傾向を示す。また、活性汚泥の質的特性を表わす指標として用いたC/N比は、MLSS濃度とほぼ同様に变化した。これは、短い反応時間中では汚泥中窒素量はほとんど変化せず、炭素量だけが変化するためである。
- 汚泥内に摂取された基質は物質代謝されるが、グルコースを基質として用いた場合、この基質は当初汚泥内で炭水化物として存在し、基質の除去が終了するころから汚泥内での物質代謝が顕在化する。
- ③ 活性汚泥による酸素消費速度は、基質の除去速度が大きくなると増加する傾向があり、その関係は一次関数で表わせる。
- ④ 活性汚泥による窒素の摂取には、窒素濃度よりむしろ活性汚泥の初期C/N比が大きく影響をもち、初期C/N比が大きくなると摂取速度が大きくなる傾向がある。

第6章 浄化反応のモデル化について

ここでは、前章で得られた浄化機構についての知見を基にし、また、これまでに提案されている浄化反応モデルも参考にしながら、活性汚泥浄化反応のモデル化を試みている。

浄化反応モデル式を以下にまとめて示す。

○基質の除去過程

$$-\frac{1}{M} \frac{dL}{dt} = \left[k_1 + k_2 \left\{ \left(\frac{S}{M} \right)_{\max} - \left(\frac{S}{M} \right) \right\} \right] \left(\frac{L}{k_L + L} \right)$$

○汚泥内炭水化物の変化過程

$$\frac{1}{M} \frac{dS}{dt} = a \left(-\frac{1}{M} \frac{dL}{dt} \right) - \alpha \left(\frac{1}{M} R_{O_2} \right) - \beta \left(\frac{1}{M} \frac{dM}{dt} \right)$$

○汚泥内炭素量の変化過程

$$\frac{1}{M} \frac{dC}{dt} = a' \left(-\frac{1}{M} \frac{dL}{dt} \right) - a' \left(\frac{1}{M} R_{O_2} \right)$$

○活性汚泥生物量の変化過程

$$\frac{1}{M_0} \frac{dM}{dt} = \left[k_N \left\{ \left(\frac{C}{N} \right)_0 - \left(\frac{C}{N} \right)_{\min} \right\} - a_N \right] \frac{L_N}{k_{L_N} + L_N}$$

○活性汚泥による酸素消費過程

$$\frac{1}{M} R_{O_2} = \left\{ \gamma_1 \left(-\frac{1}{M} \frac{dL}{dt} \right) + \gamma_2 \left(-\frac{1}{M} \frac{dL_N}{dt} \right) + R_r \right\} \frac{D}{k_D + D}$$

a , a' : 変換係数 [-], a_N : 速度定数 [1/hr], C : 汚泥中炭素濃度 [mg/ℓ], D : 溶存酸素濃度 [mg/ℓ], k_1 , k_2 : 速度定数 [1/hr], k_D , k_L , k_{L_N} : 飽和定数 [mg/ℓ], k_N : 速度定数 [1/hr], L : 基質濃度 [mg/ℓ], L_N : 窒素濃度 [mg/ℓ], M : 活性汚泥微生物濃度 [mg/ℓ], N : 汚泥中窒素濃度 [mg/ℓ], R_{O_2} : 酸素消費速度 [mg/ℓ/hr], R_r : 自家吸収速度 [1/hr], S : 汚泥中炭水化物濃度 [mg/ℓ], t : 時間 [hr], α , α' , β , γ_1 , γ_2 : 係数 [-]

第7章 浄化反応モデルの適用性についての検討

本章では、温度条件を変えて行った6回の回分実験の結果と、それに対する計算結果とを比較して、モデルの適用性について検討している。また、モデル式中の諸定数値に対する温度の影響を検討しながら反応に対する温度の影響について考察した。

その結果、前章で提示されたモデル式は10℃から35℃の温度範囲における実測値を、全体としてみれば良好にシミュレートしていると判断された。また、温度の影響については、 k_2 , k_N , γ_1 に対する影響が大きく、温度の上昇によってこれらの定数値は増加した。これは、温度が高くなると、活性汚泥による基質や窒素の摂取が、汚泥の質的特性に、より大きく依存するようになるということを意味している。なお、シミュレーションの精度を向上させるためには、モデルの改良を必要とする部分もあり、いくつかの係数についての仮定やモデルの精密化について検討課題を指摘した。

第8章 結 論

本論文で述べた研究結果を要約すると以下のようなになる。

4種類の窒素化合物を用いて、活性汚泥微生物反応に対する窒素の質約、量的影響について検討した。その結果、①基質中の窒素量はC:Nで10:1程度に存在していれば、良好な処理水質を維

持できること ②また、このとき汚泥の成分組成も安定しており、炭水化物/MLSS=0.2~0.3, タンパク質/MLSS=0.4~0.5であること ③活性汚泥による窒素化合物の代謝は、窒素の存在形態によって異なり、また、これに対して、活性汚泥の組成、つまり、活性汚泥の質的特性が影響を与えることなどが明らかとなった。

そこで次に、活性汚泥の質的特性を考慮した浄化反応モデルを提示し、モデルによる計算値と実験値の比較の結果、本モデルは全体として浄化反応を良好にシミュレートすることができた。

審 査 結 果 の 要 旨

活性汚泥法は、活性汚泥とよばれる混合微生物集団の代謝活性を利用して廃水を処理する方法であるが、その機能を十分発揮させるためには、活性汚泥の浄化反応特性を把握することが重要である。本論文は、基質中の窒素の濃度や存在形態が浄化反応にどう影響するかについて研究した成果をまとめたもので、全編8章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では従来の研究を文献的に検討し、問題点を明確にしている。

第3章では活性汚泥による窒素化合物の代謝について検討している。著者は活性汚泥の窒素化合物への馴致が約1ヶ月要すること、活性汚泥による窒素化合物の代謝は、有機性窒素がアンモニア性窒素に分解され、それが摂取されるという過程をたどり、この過程には活性汚泥中の炭水化合物含有率が大きな影響を与えること等を明らかにしている。

第4章では浄化反応に対する窒素濃度の影響について検討している。著者は基質のC/N比が10以上であれば、活性汚泥の成分組成は安定しており、炭水化合物含有率は20~30%、タンパク質含有率は40~50%となり、良好な処理水水質が安定して維持できること、活性汚泥の窒素摂取量と汚泥タンパク質の増加率の間に線形関係が存在すること等の新しい知見をえている。

第5章では浄化機構について検討している。著者は活性汚泥のC/N比が大きくなると基質除去速度が小さくなること、汚泥内に摂取された基質は当初は汚泥内で炭水化合物として存在し、基質除去終了後汚泥内での物質代謝が顕在化すること、活性汚泥の酸素消費速度が基質除去速度と線形関係にあること等の有用な知見をえている。

第6章では浄化反応のモデル化について検討している。著者は基質の除去、汚泥内物質の変化、生物量の変化、活性汚泥による酸素消費、曝気槽内混合液の変化の諸過程に対して、汚泥の質的特性を考慮した浄化反応モデル式を提案している。また第7章では第6章で提示した浄化反応モデルの適用について検討しており、シミュレーション計算を行った結果、計算値と実測値がほぼ良好な一致を示すことを明らかにしている。これらは重要な知見である。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、基質中の窒素が活性汚泥浄化反応に及ぼす影響について研究し、浄化反応モデルの提案を行ったもので、衛生工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。